

Low-temperature thermochronologic constraints on fault array evolution and patterns of range-scale denudation

Doctoral Thesis**Author(s):**

Krugh, William Christoper

Publication date:

2008

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005772437>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

**LOW-TEMPERATURE THERMOCHRONOLOGIC CONSTRAINTS
ON FAULT ARRAY EVOLUTION AND PATTERNS OF RANGE-SCALE
DENUDATION**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

WILLIAM CHRISTOPHER KRUGH

Bachelor of Science, The Pennsylvania State University (USA)

Master of Science, Oregon State University (USA)

Born March 15th, 1977

citizen of

The United States of America

accepted on the recommendation of

Prof. Sean Willett, examiner

Dr. Alexander L. Densmore, co-examiner

Dr. Diane Seward, co-examiner

Prof. Jean Braun, co-examiner

2008

Abstract

The growth of crustal-scale normal fault arrays produces spatial and temporal variability in fault displacement and slip rate. Despite this transient displacement field, along-strike patterns of footwall relief and catchment morphology show remarkable uniformity within footwall interiors. Densmore et al., [2007] suggested that this decoupling of the landscape from the fault displacement profile is the result of limited footwall width and a switch to more efficient erosional processes. For crustal-scale normal fault arrays with uniform relief, this relationship implies that variations in fault displacement should be reflected in range-scale patterns of footwall denudation. In this study, we investigated the application of low-temperature thermochronology in constraining fault array evolution. Through the use of (U-Th)/He and apatite and zircon thermochronometers, we examined the cooling patterns associated with footwall denudation along four crustal-scale normal fault arrays in the Basin and Range Province of the western United States.

In the southern Wassuk Range of western Nevada, we applied these methodologies to a combination of fault parallel and vertical transect samples to examine the impact of fault interaction and linkage on footwall denudation. We suggest that during early stages of fault interaction, patterns of increased cooling and cooling rate closely reflect the geometry of fault segmentation. This spatial variability becomes less evident as fault interaction progresses toward mechanical fault linkage.

In the Ruby Mountains-East Humboldt Range (RM-EHR) of eastern Nevada, we used apatite and zircon thermochronology to examine the relative influence of three normal fault arrays on horst evolution. Uniform patterns of footwall cooling suggest that the range-bounding normal fault arrays of the RM-EHR, unlike in the Wassuk Range, are either at a late stage of fault interaction or fully linked. The relative timing of footwall cooling suggests a west-northwest progression of fault activity where the normal faults located on the eastern flank of the range developed earlier than the fault located along the northwestern flank. This more recently developed fault array exerts an influence on the patterns of cooling observed along the other normal faults.

In both study areas, we investigated the landscape response to variations in fault activity by comparing the above constraints on fault evolution with along-strike variations in footwall relief and catchment morphology. Variations in catchment morphology were quantified through fault-parallel profiles of channel concavity θ , normalized steepness S_r , and normalized steepness index k_{sn} . In general, we found that variations in both footwall relief and catchment morphology are observable only at fault tips. Along the southern Wassuk Range, variations in relief and catchment morphology also occur at select fault segment tips. This correlation suggests that catchment response times at the segment tips are longer than the timing of fault linkage.

Densmore, A. L., S. Gupta, P. A. Allen, and N. H. Dawers (2007), Transient landscapes at fault tips, *J. Geophys. Res.-Earth Surf.*, 112(F3).

Zusammenfassung

Die Entwicklung von Abschiebungssystemen beinhaltet räumliche und zeitliche Variationen im Störungsversatz und der Versatzrate. Trotz dieser variablen Parameter, weist dahingegen das Relief des Liegenden und die Morphologie der Einzugsgebiete eine bemerkenswerte Gleichmässigkeit entlang des Liegenden auf. Densmore et al. (2007) betrachten diese Entkopplung der Landschaft vom Störungsversatz als das Resultat von einer limitierten Gebirgsbreite innerhalb des Liegenden und verstärkter Erosionsprozesse. Dieser Zusammenhang impliziert, dass Veränderungen im Versatz der Störung sich im Abtragungsmuster des Gebirgszuges wieder spiegeln sollten. Die Untersuchung der Störungsentwicklung mit Hilfe von Niedrig-Temperatur Thermochronologie war deshalb das Ziel der vorliegenden Arbeit. Mit Hilfe der Anwendung von (U-Th)/He und Apatit und Zirkon Thermochronometern haben wir den Zusammenhang zwischen den Abkühlungsmustern und der Abtragung im Bereich des Liegenden entlang von vier Abschiebungssystemen in der Basin and Range Province in den westlichen Vereinigten Staaten untersucht.

Im südlichen Teil der Wassuk Range in West-Nevada haben wir diese Methode entlang von störungsparallelen und vertikalen Transekten angewandt, um hier den Einfluss von Wechselwirkungen mehrerer Störungen auf die Abtragung zu untersuchen. Es zeigt sich, dass während früher Phasen der Störungsinteraktion die räumliche Verteilung von absoluter Abkühlungstemperatur sowie der Abkühlungsrate die Geometrie von mehreren getrennten Störungen widerspiegelt. Diese räumliche Variabilität lässt nach sobald die Störungen miteinander interagieren und sich verbinden.

In den Ruby Mountains-East Humboldt Range (RM-EHR) im Osten von Nevada haben wir Apatit- und Zirkon Thermochronologie angewandt, um den relativen Einfluss von drei Abschiebungen auf die Entwicklungen von Horsten zu untersuchen. Einheitliche Abkühlungsmuster deuten darauf hin, dass die Abschiebungssysteme der RM-EHR im Gegensatz zu der Wassuk Range entweder bereits vollständig verbunden sind oder aber sich in einer späten Phase der Verbindung befinden. Der relative Zeitpunkt der Abkühlung weist auf ein West-Nordwest-Fortschreiten der Störungsaktivität hin, bei der Abschiebungen auf der Ostseite der Bergkette sich früher entwickelten als diejenigen auf der Northwest-Seite. Das jüngst entwickelte Störungssystem beeinflusst das Abkühlungsmuster, welches entlang anderer Abschiebungen beobachtet werden kann.

In beiden Arbeitsgebieten haben wir die Reaktion der Landschaft auf Variationen in der Störungsaktivität untersucht, indem wir oben beschriebene Randbedingungen der Störungsentwicklung mit störungsparallelen Variationen im Relief des Liegenden und der Morphologie der Einzugsgebiete verglichen haben. Unterschiede in der Morphologie von Einzugsgebieten wurden durch störungsparallele Profile der Flussprofil-Krümmung θ , der normalisierten Steilheit S_r und des normalisierten Steilheits-Index k_{sn} erfasst. Wir beobachteten, dass Variationen im Relief und in der Morphologie der Einzugsgebiete ausschliesslich an den Störungsenden auftreten. Entlang der südlichen Wassuk Range kommen wir zu ähnlichen Ergebnissen. Diese

Korrelation deutet darauf hin, dass die Reaktionszeit an den Störungsenden länger ist als die Zeit, die benötigt wird, um Störungen miteinander zu verbinden.

Densmore, A. L., S. Gupta, P. A. Allen, and N. H. Dawers (2007), Transient landscapes at fault tips, *J. Geophys. Res.-Earth Surf.*, 112(F3).